ELETRÔNICA para todos

5

CAPACITÂNCIA E CAPACITORES

LÓGICA COMBINATÓRIA

CAPACITORES

O TELEFONE

PORQUE NÃO FUNCIONA?

Projeto nº 5: PONTES DE MEDIDA RC

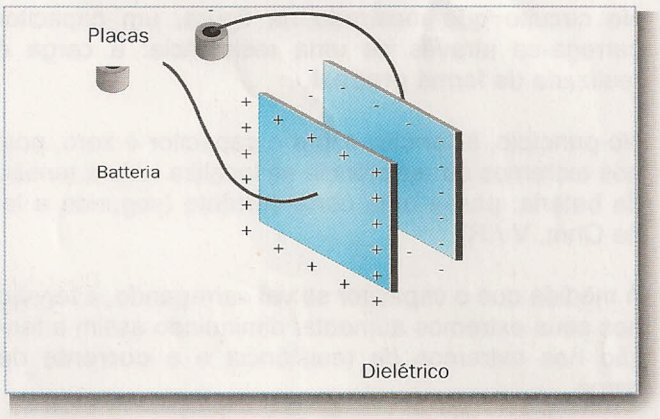
SALVAT

Capacitância e capacitores

O capacitor é um dispositivo capaz de acumular energia elétrica

Voltando à comparação entre corrente elétrica e corrente de água, um capacitor é como um **depósito** onde se acumulam os elétrons. Um capacitor simples é formado por duas **placas** metálicas, ou "armaduras". As cargas de sinal oposto (positivo ou negativo) das duas placas atraem-se, concentrando-se sobre as mesmas.

O efeito é aumentado, se entre as placas existir material **dielétrico**, ou seja, que tenha tendência a polarizar-se assumindo a carga negativa em um dos lados e positiva no outro.



Duas placas metálicas e material dielétrico (no caso de que não exista outro) formam um capacitor capaz de acumular carga elétrica.

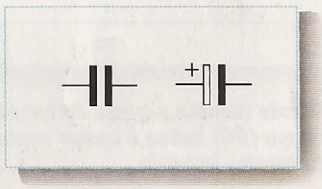
CARGA E CAPACITÂNCIA

A capacidade de um capacitor para acumular carga elétrica é medido em **farads** (símbolo F), medida que adquire o seu nome do físico Britânico Michael Faraday. Um farad é uma capacitância considerável; normalmente utilizam-se os **sub-múltiplos** microfarads (μF), nanofarads (nF) e picofarads (pF).

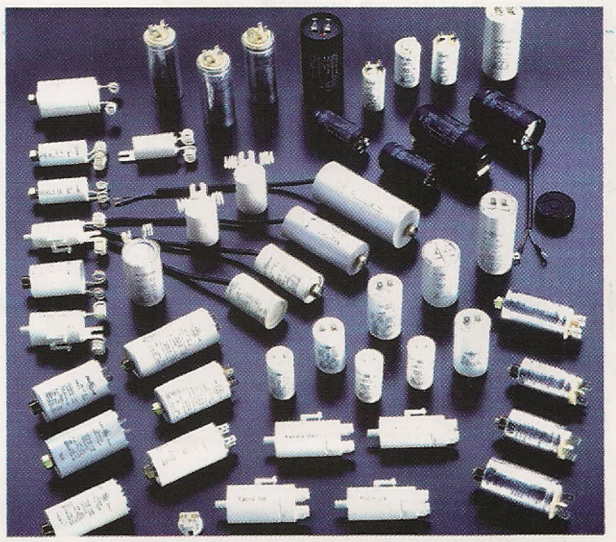
O número de elétrons acumulados (a carga elétrica) depende tanto da capacitância como da **tensão** aplicada;

$$Q = V \times C$$

O Q que é a carga medida em coulombs é obtida multiplicando a tensão pela **capacitância** do capacitor.



O símbolo do capacitor representa as placas metálicas. Algumas são polarizadas, têm um lado negativo e outro positivo.



UTILIZAÇÕES DOS CAPACITORES

O capacitor é um componente **fundamental** dos circuitos eletrônicos e as suas aplicações bastante numerosas.

Além da acumulação de energia, podemos citar também a **separação** da componente contínua da alternada e a realização de circuitos de retardo (temporizadores).

Existem capacitores de todos os tipos para serem utilizados em numerosas aplicações.

Carga e descarga

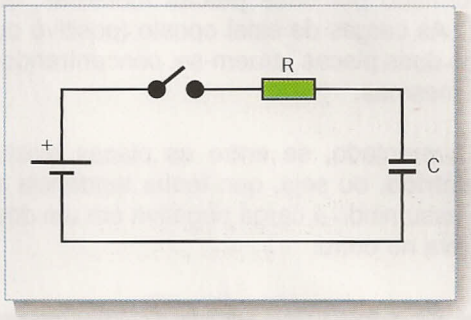
A carga de um capacitor requer um determinado tempo e tem um desenvolvimento caraterístico

No circuito que mostrado na figura, um capacitor carrega-se através de uma resistência: a carga é realizada de forma **gradual**.

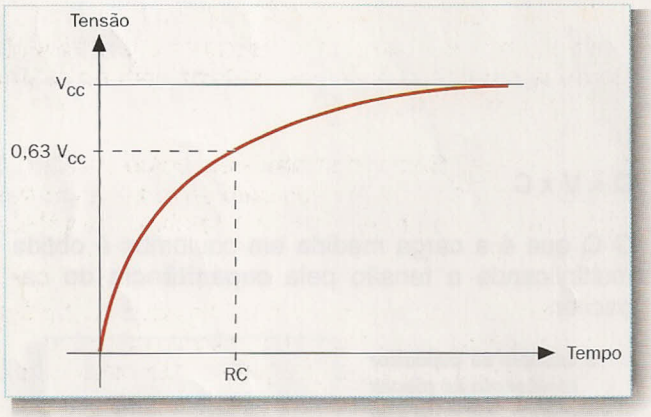
No princípio, a **tensão** sobre o capacitor é zero, pois nos extremos da resistência se localiza toda a tensão da bateria: passa uma certa corrente (segundo a lei de Ohm, V / R).

À medida que o capacitor se vai carregando, a tensão nos seus extremos aumenta: diminuindo assim a tensão nos extremos da resistência e a **corrente** de carga.

Desta forma, a tensão no capacitor sobe cada vez mais devagar. Teoricamente o tempo de carga completa é **infinito**.



Fechando o interruptor, o capacitor começa a carregar-se. No princípio é rápido mas a seguir é cada vez mais lento.



Tensão durante a carga de um capacitor. A constante de tempo (RC) indica o tempo necessário para alcançar 63% da tensão aplicada.

CONSTANTE DE TEMPO

Multiplicando o valor da resistência pelo valor do capacitor, obtém-se um tempo em segundos. Por exemplo, para R = 10 KΩ e C = 200 μF:

T = R x C = 10.000 x 0,0002 = 2 segundos

Esta constante RC, ou **constante de tempo**, indica o tempo necessário para carregar o capacitor com 63% da tensão aplicada.

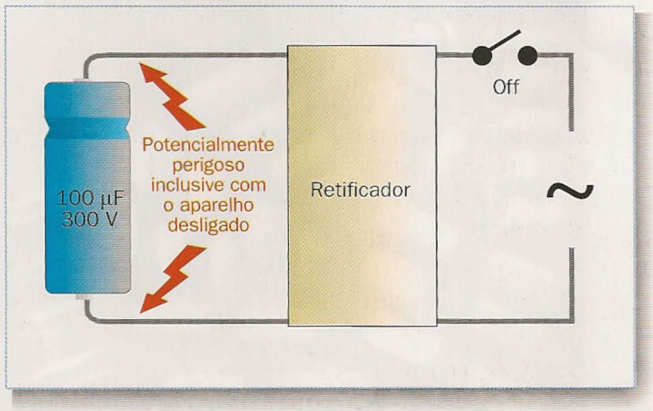
Desta forma é possível construir circuitos **temporizadores** de caraterísticas previsíveis com uma determinada precisão.

DESCARGA RÁPIDA

No caso de que a resistência tenha um valor muito baixo, por exemplo, um **curto-circuito** entre os dois terminais do capacitor, a corrente inicial é considerável. Obtém-se assim uma faísca ou uma "detonação", em função da quantidade de **energia** armazenada, energia essa que depende da capacitância e do quadrado da tensão:

$E = (C \times V^2) / 2$

Um capacitor carregado de alta tensão pode ser bastante **perigoso**, pois conserva uma energia que pode ser potencialmente letal, inclusive em um aparelho desligado durante vários dias.

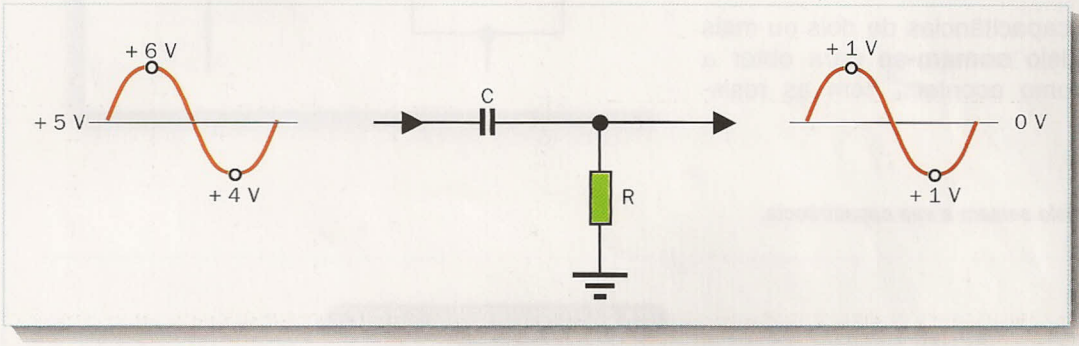


Atenção aos capacitores carregados!

Acoplamento capacitivo

Um capacitor permite separar a componente alternada da contínua

Uma **membrana elástica** colocada dentro de um tubo impede a passagem contínua da água permitindo pequenas deslocações para a frente e para trás. Da mesma forma, um capacitor bloqueia a corrente contínua, quando se carrega de forma alternativa nos dois sentidos, deixando passar a corrente **alternada**. Um **acoplamento capacitivo** entre os dois circuitos serve para deixar passar apenas a componente alternada como, por exemplo, um sinal de audio como se mostra na figura.

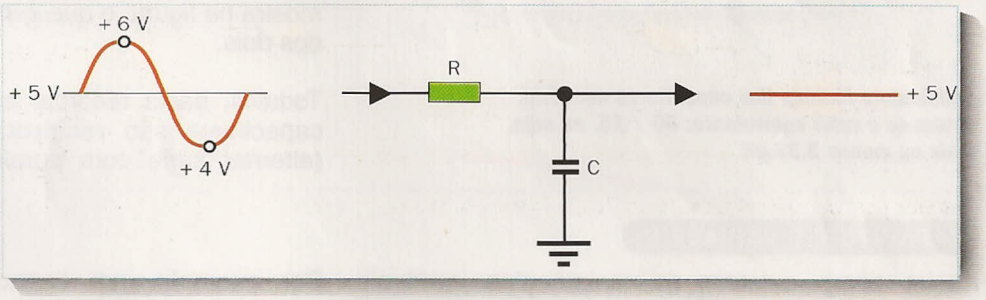


Um capacitor é um isolante para a corrente contínua e um condutor (mais ou menos bom) para a alternada.

FILTRAGEM

Alternando resistência e capacitor obtém-se o efeito oposto: a **corrente contínua** passa, enquanto que a alternada produz curto-circuito ao terra. Fala-se "filtragem" ou "desacoplamento".

O comportamento de um circuito de corrente contínua pode ser examinado com facilidade **ignorando** todos os capacitores, como se não existissem. Na corrente alternada, numa primeira aproximação podemos considerar como simples **fios** de ligação (curto-circuito).



Um filtro RC (resistência - capacitor) elimina a componente alternada, pelo menos para valores altos dos componentes e da freqüência.

FREQÜÊNCIA E IMPEDÂNCIA

Realmente, o capacitor nunca é um condutor perfeito para a corrente alternada, mas que oferece uma certa resistência ou uma **impedância**. Esta depende do valor do capacitor e da **freqüência** de trabalho: quanto maiores forem estes valores menor será a impedância, o que melhorará a condução da corrente.

Veremos como se pode aproveitar esta dependência da freqüência para construir **filtros**, ou seja, circuitos que deixam passar certas freqüências (por exemplo os sons agudos da música) melhor do que outras (por exemplo, os sons graves).

Os controles de tom aproveitam (também) a impedância dos capacitores em diferentes freqüências.

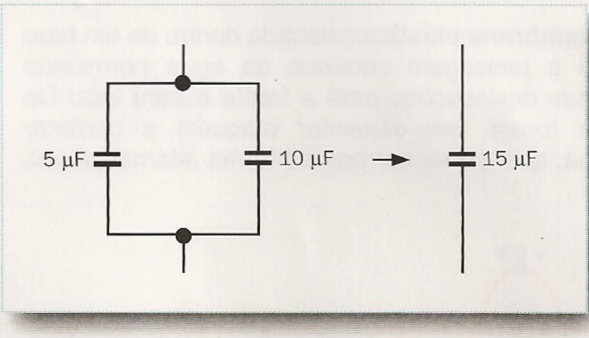
Série e paralelo

As combinações de capacitores funcionam ao contrário que as combinações das resistências

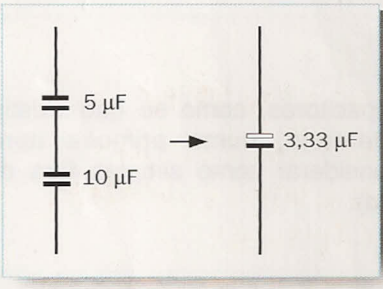
Colocar os capacitores em **paralelo** significa ligar as placas de um com as do outro.

É como ter apenas um capacitor com o **dobro** da superfície útil das placas e, portanto, com o dobro da capacidade.

Dito desta forma, as capacitâncias de dois ou mais capacitores em paralelo **somam-se** para obter a capacitância total (como acontece com as resistências em série).



Dois capacitores em paralelo somam a sua capacitância.



Aplicando a fórmula dos capacitores em série, obtém-se o valor equivalente: 50 / 15, ou seja, mais ou menos 3,33 µF.

CAPACITORES EM SÉRIE

A relação com as resistências é também aplicada no caso dos dois capacitores em série. A **fórmula** é a mesma que se utiliza para as resistências em paralelo.

C = (C1 x C2) / (C1 + C2)

Onde, naturalmente C1 e C2 são os dois capacitores em série e C é a capacitância **equivalente** como se mostra na figura, e que é inferior à do mais pequeno dos dois.

Todavia, basta recordar que as fórmulas para os capacitores são **recíprocas** às das resistências (alternar "série" com "paralelo").

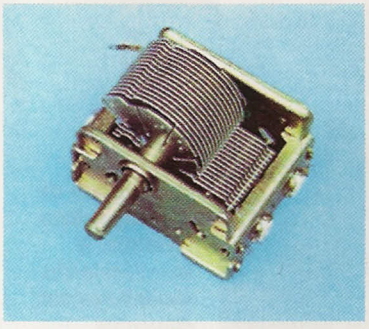
CAPACITORES VARIÁVEIS

Assim como existem as resistências variáveis (potenciômetros) existem capacitores de valor **modificáveis** manualmente.

Estes denominam-se "capacitores variáveis" ou, no caso de serem regulados com uma chave de fenda, **trimmers capacitivos**.

Como veremos, a utilização principal dos capacitores variáveis dá-se nos **circuitos ressonantes**, capazes de produzir ressonância (como um diapasão ou uma corda de guitarra) com uma determinada freqüência.

Por exemplo, um capacitor variável pode ser utilizado para **sintonizar** um rádio de forma que receba uma determinada emissora.



Um capacitor variável: a capacitância é alterada quando se aumenta ou se diminui a superfície das placas.

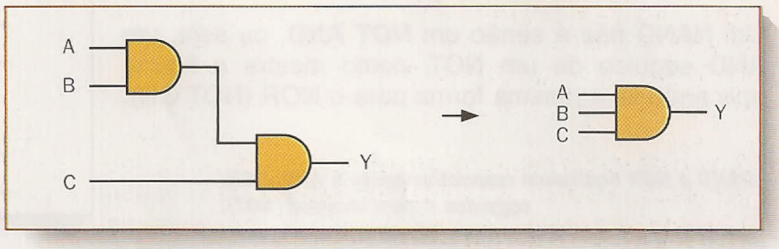
Lógica combinatória

Ligando várias portas elementares, podem ser realizadas funções lógicas complexas

Apenas uma porta lógica realiza um trabalho de grande simplicidade. A força da eletrônica digital reside na possibilidade de **combinar** as portas entre si.

São utilizados nestes circuitos o termo lógica **combinatória**, contrário à lógica "seqüencial", que será tratada em outras lições.

Consideremos por enquanto os circuitos **desprovidos de memória**, nos quais o estado da saída depende apenas e exclusivamente do estado das entradas, independentemente dos eventos sucedidos.



Exemplo de lógica combinatória: uma porta AND de três entradas construída com duas portas AND de duas entradas.

UM AND DE VÁRIAS ENTRADAS

Suponhamos que dispomos apenas de portas AND de duas entradas. Podemos **realizar** com estas um AND de três entradas?

Com certeza. Basta **combiná-las** como mostra a figura acima. A saída é 1 somente se todas as entradas forem 1, como se pode ver também na tabela verdade adjacente.

Do ponto de vista lógico, os dois circuitos ilustrados são totalmente **equivalentes** (embora, na prática, o circuito de duas portas seja ligeiramente mais lento).

O sistema é **extensível**, aplicando repetidamente a mesma técnica para a realização do AND com qualquer número de entradas.

Entrada A	Entrada B	Entrada C	Saída Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

A tabela verdade de um AND de três entradas: A saída é 1 somente se todas as entradas forem 1.

EXPRESSÃO LÓGICA

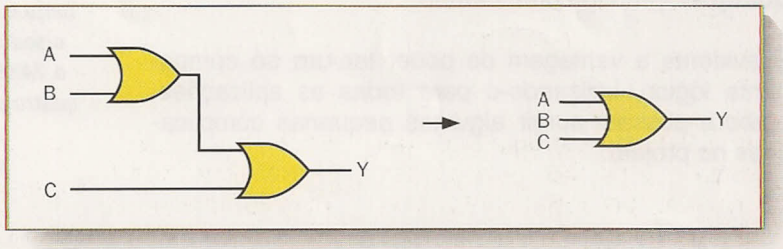
Do ponto de vista formal, esta é a expressão lógica que **descreve** as duas portas AND combinadas:

Y = (A* B) * C

de onde a parte entre **parêntesis** (A * B) representa o primeiro AND. Este é equivalente à expressão lógica que descreve um AND de três entradas:

Y = A * B * C

Na prática, num AND lógico, igual que na multiplicação normal, os parêntesis não alteram o resultado. A utilização da letra Y para representar a saída é uma convenção muito difundida.



Com o mesmo sistema pode-se construir um OR de três entradas. A expressão lógica é, neste caso: Y = A + B + C.

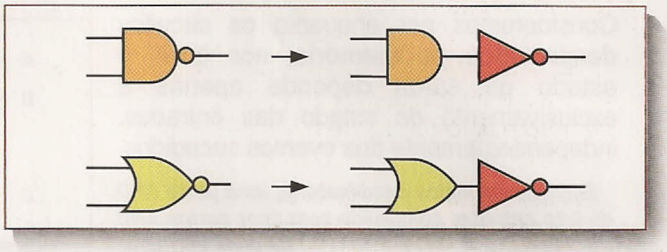
NAND e NOR

Utilizam-se freqüentemente portas lógicas nas quais a saída não está permitida, ou seja, está invertida logicamente

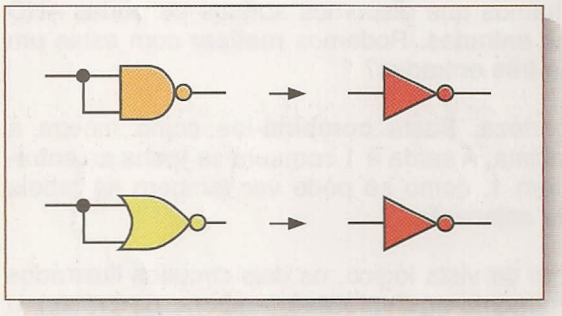
Os primeiros circuitos integrados lógicos não continham portas simples AND e OR, mas sim as correspondentes com a saída que **não está permitida**: NAND e NOR.

Um NAND não é senão um **NOT AND**, ou seja, um AND seguido de um NOT, como mostra a figura, aplicando-se a mesma forma para o NOR (NOT OR).

A negação ou inversão lógica, está indicada nos esquemas com um **pequeno círculo** situado à saída da porta lógica.



NAND e NOR eqüivalem respectivamente a AND e OR, seguidos de um inversor (NOT).



Unindo as entradas de um NAND ou de um NOR, obtém-se um inversor (NOT).

PORQUÊ OS NAND?

Nos inícios dos circuitos integrados digitais, realizar um NAND em vez de um AND permitia atingir uma maior **simplicidade** de construção e uma maior velocidade de funcionamento por motivos estruturais.

Além disso, existia a vantagem de se poder realizar um **NOT** simplesmente utilizando um dos distintos NAND (normalmente dois ou quatro) contidos no mesmo integrado.

Assim, era possível utilizar um circuito integrado para desenvolver **várias funções**, economizando componentes. Esta vantagem ainda hoje é válida, embora em menor escala.

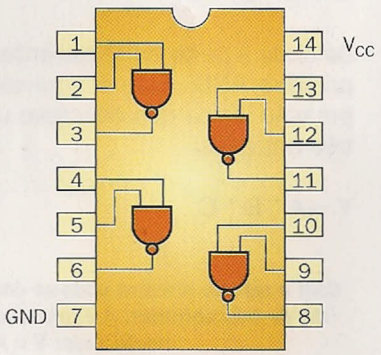
UM INTEGRADO HISTÓRICO

Na figura pode-se ver a disposição de um glorioso componente histórico: o **7400**, talvez o integrado digital mais antigo que ainda é utilizado (embora seja em versões atualizadas como o 74HC00).

Este componente contém quatro portas NAND, pelo que se pode utilizar para construir o NOT, o AND e, como veremos a seguir, também o OR. Na prática, **qualquer** circuito combinatório.

É evidente a vantagem de poder ter **um só** componente lógico, utilizando-o para todas as aplicações, embora possam surgir algumas pequenas complicações no projeto.

Recuperaremos mais à frente esta vantagem através dos circuitos integrados **programáveis** pelo usuário.



Tanto o 7400, como o seu descendente o 74HC00, contêm quatro portas NAND num mesmo componente.

Construir um XOR

Como exemplo de um circuito lógico combinatório, realizamos um OR exclusivo utilizando as portas AND, OR e NOT

Ao observarmos a tabela verdade do XOR (na figura que está ao lado), podemos **descrever** todos os casos nos quais a saída vale 1:
a entrada A vale 1 **e** a entrada B vale 0
ou:
a entrada B vale 1 **e** a entrada A vale 0

Se substituirmos o "Y" por "*" (AND) e "ou" por "+" (OR), poderemos obter a **expressão lógica** que dará o valor da saída Y:

$Y = (A * \overline{B}) + (B * \overline{A})$

onde $\overline{B}$ significa NOT B, a expressão que é correta quando o B vale 0 (o mesmo acontecendo com o $\overline{A}$).

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

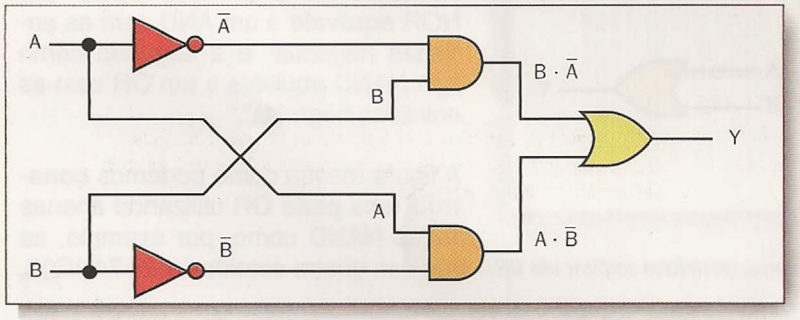
A tabela verdade do XOR: as duas combinações centrais resultam 1 na saída.

CIRCUITO EQUIVALENTE

Quando utilizamos inversores como o NOT, o AND em lugar da multiplicação (*) e o OR em lugar da soma (+), podemos obter um circuito equivalente ao **XOR**, como o que se mostra na figura.

Para nos assegurarmos do funcionamento correto, é suficiente aplicar as quatro possíveis combinações das entradas e **examinar** o valor lógico dos distintos pontos do circuito, continuando até às saídas.

Por exemplo, se A vale 1 e B vale 0, o inversor ligado ao B dará 1. **Ambas** as entradas do AND que está abaixo estarão a 1, pelo que também estará a 1 a sua saída.



Conseqüentemente, o OR final encontrará pelo menos um 1 na entrada e dará portanto outro 1 na saída (independentemente da outra entrada).

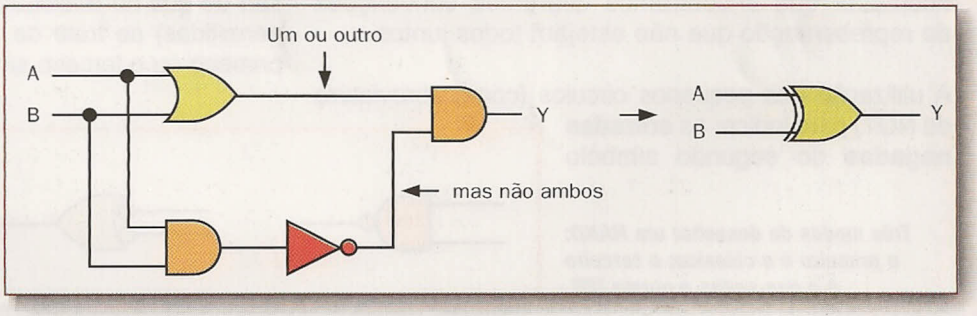
Da mesma maneira podem-se analisar as outras três possibilidades.

Como realizar um OR exclusivo (XOR) com um AND, um OR e um NOT; não será o sistema mais simples ou mais cômodo, mas funciona.

SIMPLIFICAÇÕES

O circuito que se mostra por cima não é com certeza o mais **simples**. Na figura aparece outra alternativa que também é válida, e que utiliza uma porta a menos.

Existem numerosas **técnicas** (as quais aprofundaremos neste curso) para simplificar as expressões lógicas, e portanto os circuitos que as representam.



Outra possível forma de realização de um XOR, é o esquema mostrado anteriormente.

Direto e invertido

Com a ajuda de algum inversor, um AND pode substituir um OR e vice-versa

Partindo da tabela verdade do AND e escrevendo o **complemento** lógico (o inverso ou a negação) das entradas e da saída, mudamos 1 por 0 e vice-versa.

A tabela verdade que é obtida desta forma não é outra que a do **OR**! O que significa que invertendo as entradas e a saída de um AND (com inversores, ou seja um NOT) obtém-se um OR. De forma recíproca invertendo as entradas e saídas de um OR obtém-se um AND. Por este fato é suficiente apenas **uma** das portas para poder construir também a outra, embora seja mais cômodo ter as duas.

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{Y}$
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

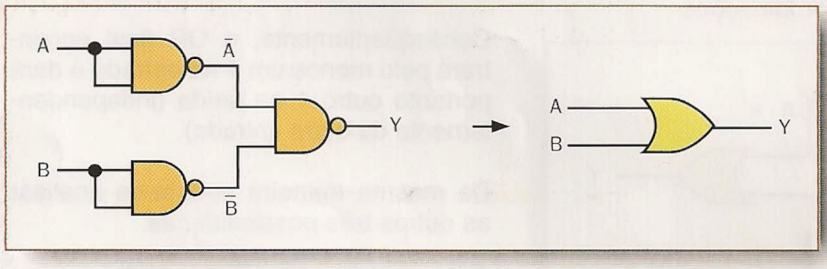
A tabela verdade do AND na versão normal e com o complemento (inversão lógica) das entradas e da saída, obtém-se a tabela verdade do OR.

DE MORGAN

O que acabamos de descrever é uma aplicação do **teorema de De Morgan**, que escrito de uma forma mais formal confirma as duas equivalências.

$$\overline{(A + B)} = \overline{A} * \overline{B}$$

$$\overline{(A * B)} = \overline{A} + \overline{B}$$



As três portas NAND, duas delas utilizadas como inversores, permitem realizar um OR.

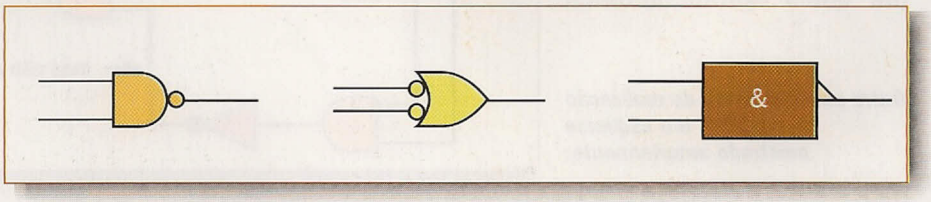
Podemos ler a primeira como "um NOR **equivale** a um AND com as entradas negadas" e a segunda como "um NAND equivale a um OR com as entradas negadas".

A figura mostra como podemos **construir** uma porta OR utilizando apenas portas NAND como, por exemplo, as três das quatro contidas num 74HC00.

DESENHAR UM NAND

Os três **símbolos** da figura são equivalentes; todos eles representam um NAND. Nos esquemas pode acontecer que encontremos diferentes convenções de representação que não estejam todos juntos.

A utilização dos pequenos círculos (como abreviatura do NOT) para indicar as **entradas negadas** do segundo símbolo complica a sua leitura. De fato, a utilização de um símbolo OR pode fazer com que seja **pouco** evidente o fato de que na realidade (pelo efeito das entradas não permitidas) se trate de um NAND: é melhor utilizar o primeiro ou o terceiro símbolo.



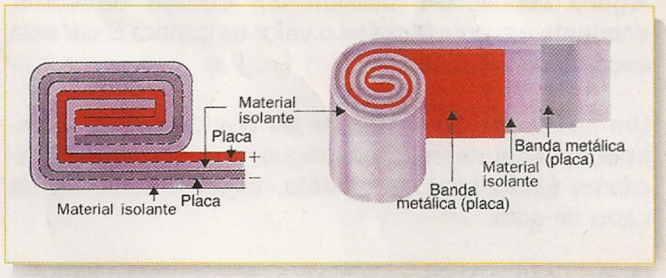
Três modos de desenhar um NAND: o primeiro é o clássico; o terceiro é o que segue a norma IEC.

Capacitores

Estes componentes existem com um grande número de tipos e variantes

Enquanto os resistores são todos essencialmente iguais, a oferta dos capacitores é bastante ampla. O capacitor **perfeito** não existe; deve-se escolher em função da sua aplicação.

Cada **tecnologia** de construção tem também as suas virtudes e defeitos. Num circuito encontram-se quase sempre dois ou três tipos diferentes de capacitores.

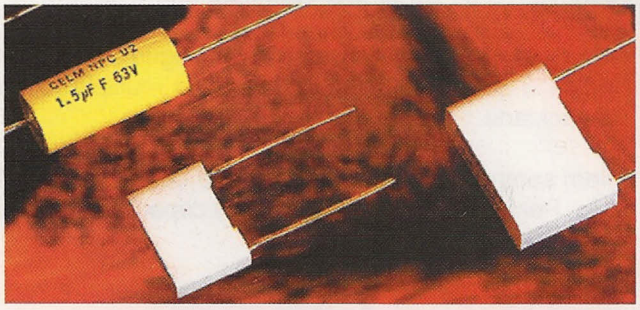


Estrutura de um capacitor enrolado. Leva intercalados entre camadas compridas bandas metálicas de material isolante.

TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Para realizar um capacitor bastam duas lâminas metálicas, mas a **capacitância** obtida desta forma é da ordem de picofarads (pF, da bilionésima parte de um farad).

Para a **aumentar** é necessário ampliar a superfície das lâminas, ou aproximá-las o mais possível (sem que haja uma descarga elétrica), ou escolher um material dielétrico adequado.



Normalmente, são utilizadas todas estas técnicas: as lâminas são muito finas e estão dobradas várias vezes ou **enroladas** em forma de cilindro para obter o máximo da superfície no mínimo de volume.

Para obter capacidades ainda mais altas são utilizadas técnicas **eletroquímicas**: superfícies condutoras que estão revestidas a nível microscópio com um suporte poroso.

Os capacitores de poliéster, mylar e outros plásticos especiais têm uma boa precisão

CAPACITORES COMUNS

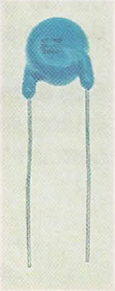
Entre os diferentes tipos de capacitores mais utilizados, os **cerâmicos** são pouco precisos e estáveis, mas são econômicos e têm um bom comportamento em altas freqüências.

São utilizados normalmente para evitar **interferências** na alimentação dos circuitos integrados, sobretudo digitais.

Os capacitores **eletrolíticos** alcançam valores altos de capacitância (inclusive até farads), sendo no entanto muito menos precisos e estáveis.

Além disso, são **polarizados** e não suportam tensões inversas; utilizam-se para filtrar e para aplicações que não sejam fundamentais.

Os eletrolíticos estão bastante difundidos, mas não são de forma alguma os ideais.



Capacitores cerâmicos de utilização habitual.

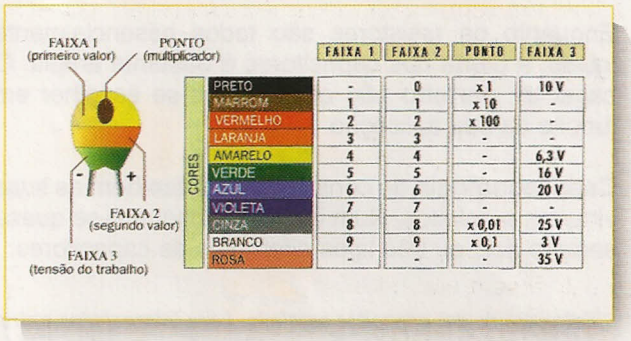
Valor dos capacitores

Não existe um único padrão para indicar a capacitância de um capacitor

Alguns capacitores utilizam um **código** de cores, enquanto em outros casos o valor da capacitância está escrito no componente.

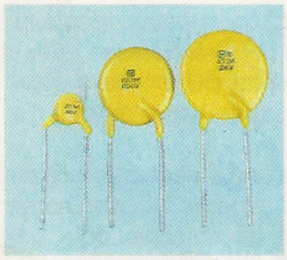
Um código de cores similar ao dos resistores (mostrado anteriormente) é empregue, em diferentes capacitores eletrolíticos de **tântalo**, especialmente os de caixa de gota.

Neste caso, o valor é expresso em µF (**microfarads**) enquanto que para os outros capacitores está normalmente indicado em pF (**picofarads**). Por exemplo, um capacitor cerâmico que leve escrito **100 K** ou **100 n** é de 100.000 pF, ou seja 100 nF (correspondente a 0,1 µF).



CORES	FAIXA 1	FAIXA 2	PONTO	FAIXA 3
PRETO	-	0	x 1	10 V
MARROM	1	1	x 10	-
VERMELHO	2	2	x 100	-
LARANJA	3	3	-	-
AMARELO	4	4	-	6,3 V
VERDE	5	5	-	16 V
AZUL	6	6	-	20 V
VIOLETA	7	7	-	-
CINZA	8	8	x 0,01	25 V
BRANCO	9	9	x 0,1	3 V
ROSA	-	-	-	35 V

Código de cores dos capacitores eletrolíticos de tântalo.



Com os pequenos capacitores do disco é fácil o engano: o "472K" indica 4700 pF (4, 7, 2 zeros); o K não tem nada a ver com o valor.

AMBIGÜIDADE

Os capacitores de baixo valor podem indicar o seu valor **diretamente** (por exemplo: 330 = 330 pF) ou com maior freqüência, considerar o terceiro número como a quantidade de zeros (por exemplo: 330 = 33 pF).

Algumas vezes, como aparece na figura, um **K** final indica o coeficiente térmico e não o multiplicador da capacidade.

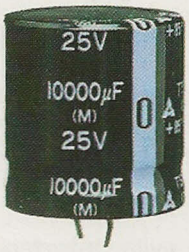
Nem sempre é possível a resolução destas ambigüidades. Por isso é melhor **separar** os capacitores.

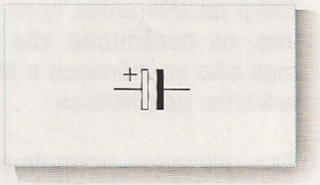
POSITIVO E NEGATIVO

Quase todos os capacitores eletrolíticos são polarizados, e não se devem **inverter**, pois poderiam produzir funcionamentos errados ou provocar alguma explosão.

A **polaridade** é indicada claramente, (como nos de tântalo) ou se reconhece baseando-se num ponto de cor ou que o terminal positivo seja o mais comprido dos dois.

Nos **esquemas**, o terminal positivo é indicado com um retângulo vazio, enquanto que o negativo é marcado com um retângulo cheio, como se mostra na figura.





Neste caso o terminal negativo é marcado de uma forma inequívoca com o sinal "-" na banda branca; no símbolo aparece indicado a polaridade.

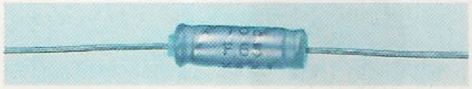
Dados dos capacitores

Numerosas caraterísticas influem na escolha de um capacitor. Vejamos as principais

Numa aplicação que não seja fundamental, além da capacitância, deve-se ter em conta **a tensão máxima** de trabalho. No caso de que esta seja ultrapassada, não se garante o isolamento entre as placas. Como no caso da inversão da polaridade, superar a tensão máxima nos capacitores eletrolíticos pode causar a sua **explosão** ou, como mínimo, a liberação de vapores nocivos.

A tensão indicada nunca deve ser ultrapassada. Convém sempre ter uma margem de segurança.

Especificações técnicas	
Tolerância de capacidade	±1%
Temperatura do funcionamento	
(modelos a 63 V)	de -40% a mais de +70%
(outros modelos)	de -40 a mais de +85 °C
Coeficiente térmico	-125±60 ppm/°C
Resistência do isolamento	> 100.000 MΩ
Tan δ a 1 KHz	≤ 5 x 10^{-4}



Nas aplicações críticas a precisão e a estabilidade térmica são importantes.

PRECISÃO E ESTABILIDADE

Em algumas aplicações, como a **filtragem** da tensão de alimentação para a redução das irregularidade, a precisão do valor da capacidade não é importante.

Entre outras, como exemplo, as **temporizações** com circuitos RC (resistor - capacitor) a precisão do funcionamento depende bastante do capacitor.

Por exemplo, os eletrolíticos têm uma precisão reduzida (normalmente ±20% ou pior) pouca **estabilidade** do valor no tempo, estando fortemente influenciados pela **temperatura**.

Os capacitores de **precisão** chegam também a 1%, mas freqüentemente estão disponíveis apenas nos campos limitados do valor.

DISPERSÃO E IMPEDÂNCIA

Um problema de todos os capacitores, especialmente notável nos eletrolíticos, é a **auto descarga** pela dispersão da corrente entre as placas.

Um isolamento perfeito é impossível: existe sempre uma perda que pode aparecer indicada nos dados, como uma **corrente** de descarga (por exemplo 2 μA) ou em outras formas.

O comportamento de um capacitor pode variar segundo a **freqüência** da tensão aplicada. Por exemplo, os eletrolíticos habituais têm uma elevada impedância a freqüências médias e altas. Este fato significa que (simplificando) é como se tivessem uma resistência em série: são **inutilizáveis** para muitas aplicações.

A corrente de perda descarrega de forma gradual os capacitores.

Diferentes capacitores

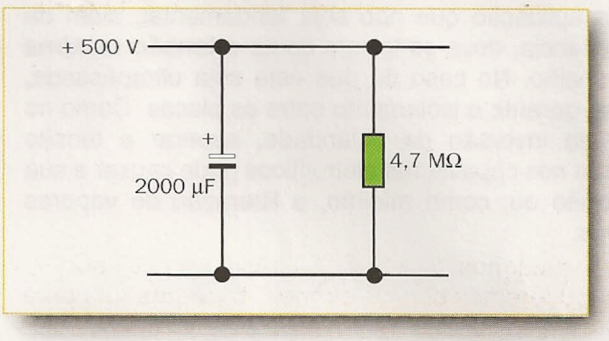
Além dos modelos habituais, existem numerosas variações de capacitores especializados

Os capacitores de **altas tensões** utilizam-se normalmente nos circuitos de alimentação dos dispositivos eletrônicos.

Para evitar que conservem uma **carga** perigosa depois de serem desligados, utiliza-se uma resistência de auto descarga.

Pelo contrário, nos modelos de **altíssima capacitância** (incluídos, 10 farads) e baixa tensão devem ter perdas muito baixas.

Utilizam-se realmente para **manter** uma tensão, por exemplo, para fazer funcionar um relógio durante uma queda de tensão sem ser necessário recorrer a baterias mais caras.



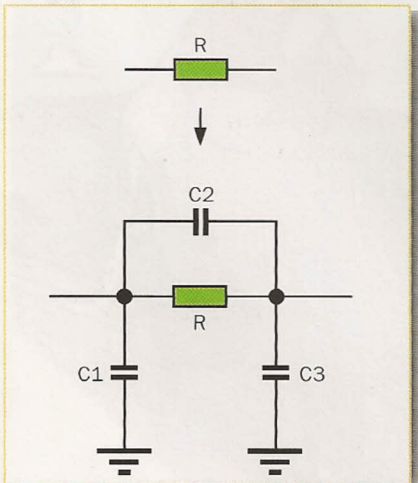
A resistência tem a missão de descarregar o capacitor de alta tensão em poucos segundos após ser desligado, evitando assim riscos de descargas.

CAPACITORES VARIÁVEIS

Nos circuitos de **sintonia** dos receptores de rádio, os capacitores variáveis são substituídos freqüentemente por outros dispositivos (como por exemplo os diodos de capacidade variável ou "varistor").

No entanto, são ainda bastante utilizados os **trimmers capacitivos** ou "compensadores". Pequenos capacitores variáveis que se regulam com uma chave de fenda (melhor se for de plástico). Estes capacitores têm uma aplicação nos circuitos de **alta freqüência** como, por exemplo, nos receptores de televisão ou nas telecomunicações.

Um trimmer capacitivo é composto por uma armadura semicircular fixa e uma giratória; a superfície enfrentada determina a sua capacidade.



Uma simples resistência tem uma capacitância parasita entre os terminais e entre cada um dos terminais e a massa.

CAPACITORES NÃO DESEJADOS

Dois componentes eletrônicos montados muito **perto** um do outro comportam-se como duas placas enfrentadas: formam um pequeno capacitor.

Também as **trilhas** do circuito impresso sobre as quais se montam os componentes ou mesmo a própria caixa metálica podem funcionar como armaduras.

Estes minúsculos capacitores causam **acoplamentos capacitivos**, transportando sinais e interferências, especialmente nas altas freqüências ou circuitos digitais rápidos.

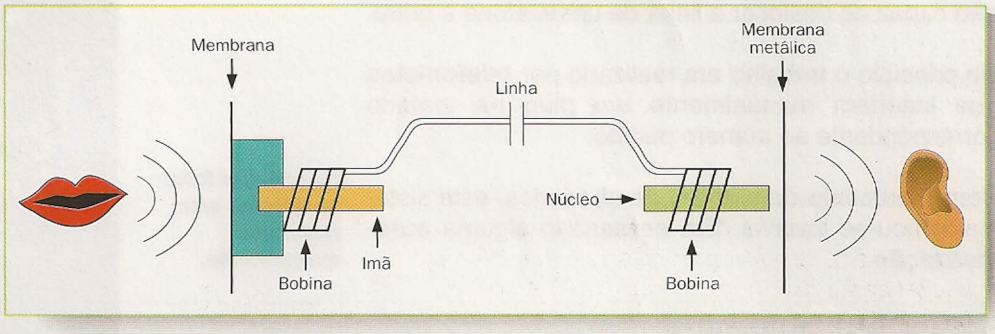
O telefone

Como funciona a transmissão da voz a longas distâncias

O telefone tem muitos **inventores**, entre os quais foram muito importantes as contribuições de Antonio Meucci e Alexander Graham Bell.

Em 1876, antes da aparição da eletrônica, a **transmissão** da voz à distância parecia quase um milagre, ainda que se utilizassem uns princípios físicos simples.

Nos primeiros telefones de Meucci e de Bell, a voz movia uma **bobina** num campo magnético produzindo uma pequena corrente que era enviada ao receptor, como mostra a figura.

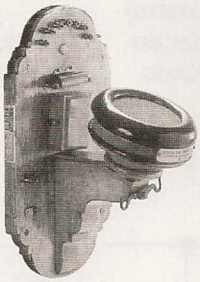


Os primeiros telefones utilizavam um antepassado do microfone eletrodinâmico (ver a lição 4); o sinal era muito fraco.

CORRENTE E CARVÃO

Os trabalhos de investigadores como Gary, Berliner, Edison, Huges e finalmente Huming, deram lugar à invenção do microfone de **grânulos de carvão**. Aparece na figura do lado.

A corrente proporcionada por uma bateria **circulava** através do microfone e do auricular de ambos telefones e da linha que os ligava (na imagem apenas mostramos o microfone).



As ondas de pressão da voz variavam a **resistência** do microfone e, portanto, a corrente na linha e no auricular, produzindo um sinal mais forte do que com o antigo sistema.

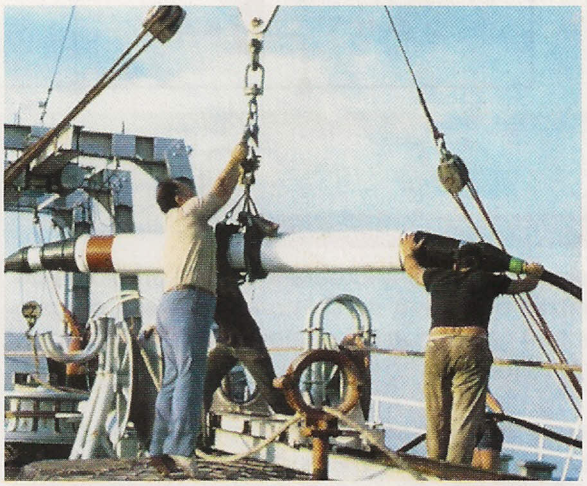
O microfone de carvão foi utilizado durante muitos anos, até à chegada da eletrônica.

PROBLEMAS DA EVOLUÇÃO

As longas distâncias eram impraticáveis por causa da **atenuação** (o debilitar) e da distorção devida à resistência, à capacidade e à indutância (ver a lição 6 de Analógica) da linha.

Apenas com a invenção dos tubos de vácuo (válvulas termoiônicas) nos princípios de 1900 foi possível **amplificar** o sinal para o tornar compreensível inclusive a longas distâncias. O problema complicava-se (o que ainda hoje sucede) com a necessidade de eliminar o **eco** da voz, para evitar entre outras coisas as microfonias (assobios) devidos ao contínuo ir e vir do mesmo sinal cada vez mais amplificado.

Atualmente, a micro eletrônica digital mudou profundamente a telefonia, porém o **princípio** básico continua sendo o mesmo.



A telefonia intercontinental com cabos submarinos foi possível devido aos amplificadores.

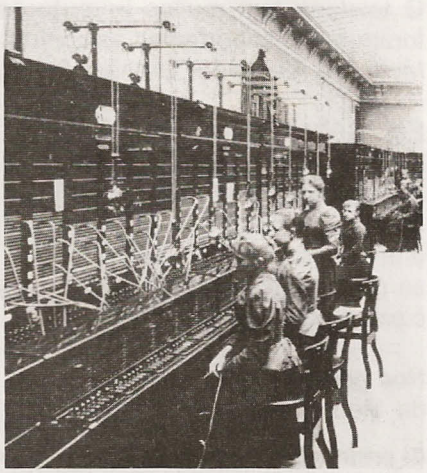
Centrais telefônicas

As centrais telefônicas eletromecânicas eram verdadeiras obras-primas da engenharia

O telefone primitivo estabelecia uma comunicação entre duas pessoas. Para poder chamar a vários números era necessário um mecanismo de **comutação** capaz de deslocar a linha de um telefone a outro.

No princípio o trabalho era realizado por **telefonistas** que inseriam manualmente um plug na tomada correspondente ao número pedido.

Com o aumento do número de abonados, este sistema tornou-se inviável. Era necessário alguma **automatização**.



No princípio todas as ligações eram realizadas manualmente.

CENTRAIS DE IMPULSOS

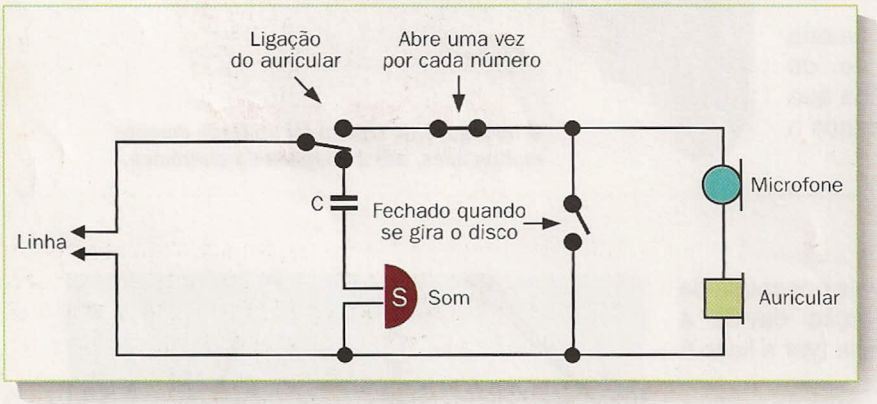
A introdução do mecanismo de ligação por impulsos permitia a realização de mecanismos de ligação automática: as **centrais** telefônicas.

Um **disco** giratório sobre o telefone (ainda existem) provocava um curto-circuito na linha interrompendo-a um número de vezes similar ao número marcado.

Estes breves impulsos de corrente ativavam uns mecanismos eletromagnéticos (como por exemplo os "seletores Strowger") que **giravam** um passo em cada impulso, fechando os diferentes contatos.

Desta forma, o primeiro número, estava ligado a uma **linha** diferente. O processo repetia-se depois para os números sucessivos, até alcançar a linha do utilizador desejado.

Finalmente era ativado o **som** por uma corrente alternada separada por um capacitor de forma a que não interferisse na corrente da linha.

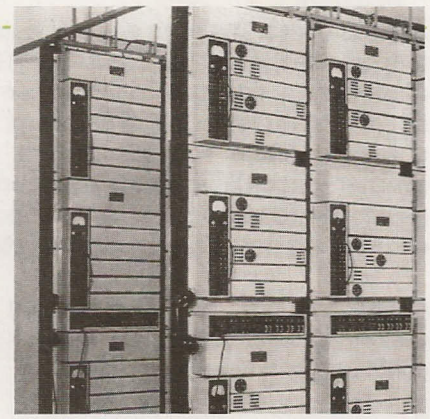


Telefones eletromecânico simplificado (falta o circuito "antieco" para eliminar a própria voz).

REDUZIR A COMPLEXIDADE

Numerosos estudos abordaram o difícil problema de **minimizar** o número de seletores (e assim o custo da central) garantindo em qualquer um dos casos um serviço válido.

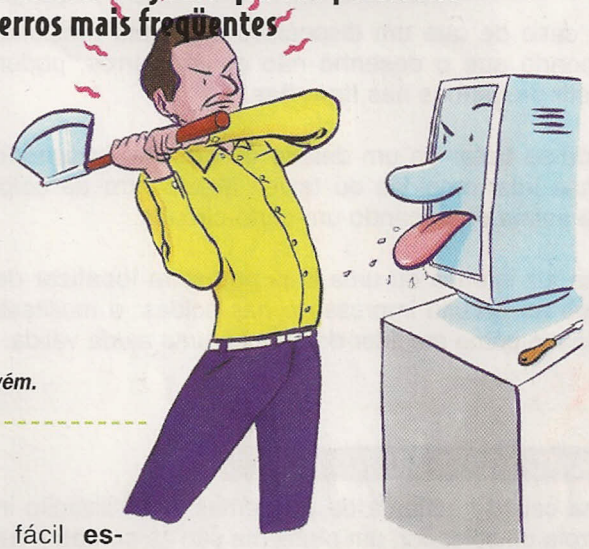
Ainda que os atuais seletores **eletrônicos** sem partes móveis não necessitem mais do que uma manutenção freqüente, o custo das centrais continua sendo um problema real.



Um seletor telefônico eletromecânico é um mecanismo evoluído mas complexo e delicado.

Porque não funciona?

Quando se realiza um projeto, existem muitos enganos que são possíveis: Vamos rever alguns dos erros mais freqüentes



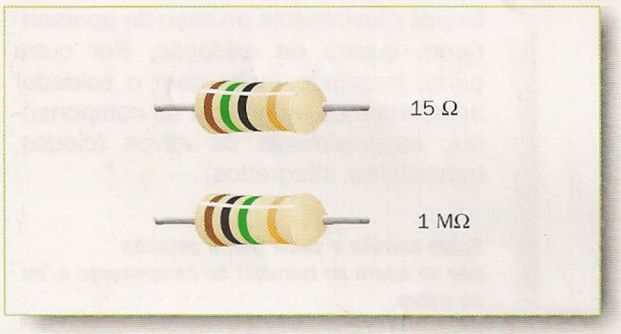
Primeiro, não perder a **calma**. Pode parecer obvio e de pouca importância, mas a experiência ensina-nos que é melhor ir tomar um café e voltar a abordar o problema com a cabeça fria.

No caso de que um aparelho não dê sinais de vida quando se experimenta, o melhor é **retirar** imediatamente a alimentação e examiná-lo com paciência.

Manter a calma e pensar que nem sempre é uma tarefa fácil, mas convém.

PLANO DE MONTAGEM

Deve-se garantir que todos os componentes indicados no plano de montagem foram **inseridos** e **soldados** no lugar correto do circuito.



É fácil **esquecer-se** de um componente, ou de um simples fio que liga duas trilhas de cobre do circuito impresso. Também é fácil a **troca** de dois componentes parecidos, como por exemplo um resistor de 15 Ω (marrom - verde - preto) por um de 1 MΩ (marrom - preto - verde).

Também com os **capacitores** é necessário ter cuidado: um de 10 μF de 100 V e um de 100 μF de 10 V podem ter as mesmas dimensões, porém não são substituíveis.

Dois valores bem diferentes, mas fáceis de confundir.

INVERSORES

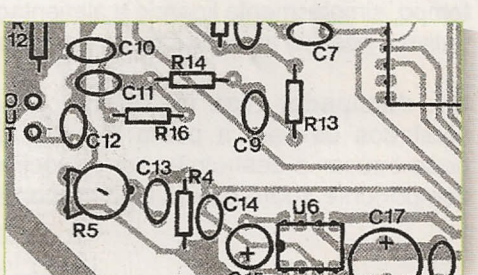
Muitos componentes são **polarizados**. Por exemplo, os diodos, incluídos os luminosos (LED), são inseridos com uma determinada orientação.

Os capacitores **eletrolíticos** também não toleram inversões. No caso de que um deles comece a inchar, significa que vai explodir.

Os circuitos integrados de duas filas (dual in line) pode ser inserido **ao contrário**, especialmente no caso de que se tenha montado o possível soquete ao contrário.

Os **transistores** podem ter os terminais formando um semi circulo ou em linha. Nos dois casos é necessário observar com atenção o plano de montagem.

Se no lugar do componente requerido for utilizado um **eqüivalente**, a disposição dos terminais pode ser diferente ainda que a forma seja a mesma. É melhor documentar-se antes.



A polaridade do componente é essencial.

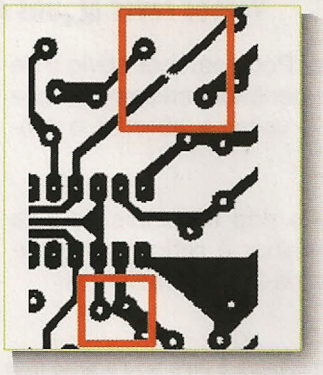
Contatos e soldas

Os falsos contatos são uma das principais causas de problemas nos circuitos eletrônicos

No caso de que um dispositivo siga sem funcionar, supondo que o desenho não contém erros, podem existir problemas nas **ligações**.

Pode-se tratar de um defeito do **circuito impresso**: trilhas interrompidas ou talvez algum erro de solda que esteja provocando um curto-circuito.

Uma luz intensa ou uma lupa permitem **localizar** defeitos no circuito impresso e nas soldas: o multiteste utilizado como medidor de ohms é uma ajuda válida.



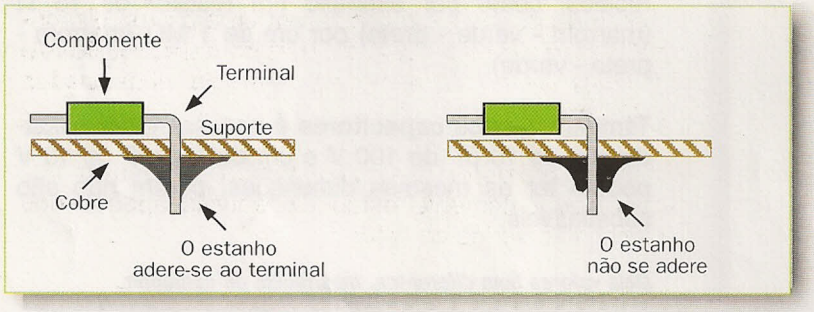
As possíveis micro interrupções ou micro cortes nos circuitos impressos são difíceis de apreciar à primeira vista.

MUITO FRIO E MUITO QUENTE

Uma causa freqüente de problemas é a utilização incorreta do soldador: um problema são as **soldas frias**.

Este tipo de solda produz um contato **intermitente** ou ausente. São normalmente reconhecidos pelo aspecto convexo do estanho no ponto de contato com o componente.

Também pode ser devido a um aquecimento insuficiente, ou de terminais oxidados: Estes devem ser limpos previamente no caso de apresentarem sujeira ou oxidação. Por outra parte, insistindo muito com o soldador arriscamo-nos a danificar os componentes, especialmente os ativos (diodos, transistores, integrados).



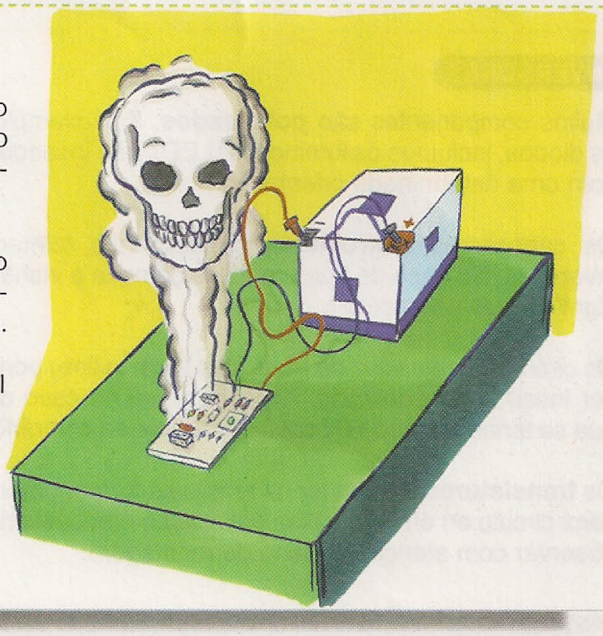
Solda correta e solda fria: o estanho não se adere ao terminal do componente e/ou ao cobre.

BRAÇADEIRAS E INVERSÕES

Os outros contatos tais como as **braçadeiras** de parafuso também devem estar bem ajustados e tocar no interior do fio, não no isolante. Convém também comprovar duas vezes que os fios estejam corretos.

Um circuito bem montado pode ser **destruído** em pouco tempo, simplesmente ligando a alimentação ao contrário (negativo e positivo ao contrário) ou com uma tensão excessiva.

Um **dissipador** (liga ou metal) com os parafusos mal ajustados ou sem a pasta térmica (se for necessário) pode causar a destruição por aquecimento excessivo do componente sobre o qual estiver montado.



Atenção: alimentação ao contrário.

Pontes de medida RC

Uma ferramenta versátil para conhecer e comparar o valor das resistências e dos capacitores

Para **quantificar** as quantidades comuns, como as distâncias, pesos ou tempos, basta indicar com um número e uma unidade de medida.

Na conversação normal emprega-se por norma uma forma específica, como por exemplo 300 metros, 100 gramas, 20 segundos, enquanto que num texto escrito é preferível utilizar uma forma **simbólica** concisa, tal como 300 m, 100 gr, 20 seg.

Para avaliar uma determinada quantidade é utilizado a **ferramenta de medida** adequada; como por exemplo o metro, a balança, o relógio.

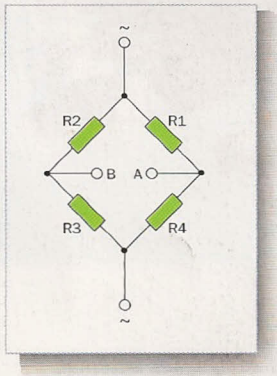
Na eletrônica existem diferentes **magnitudes** das quais as principais foram já introduzidas na secção Analógica. Neste caso e com bastante freqüência mede-se o seu valor.

A PONTE DE WHEATSTONE

Uma das ferramentas de medida mais **simples** de construir e utilizar é a ponte de Wheatstone, que toma o seu nome do físico inglês que a inventou a princípios do século passado.

A ponte de Wheatstone, que aparece esquematizada na figura, emprega quatro elementos ligados formando um **quadrado** (R1, R2, R3 e R4).

Através de uma diagonal aplica-se a alimentação, que pode ser contínua ou, no caso dos capacitores, alternada. Nos extremos podemos verificar o estado do **equilíbrio**.



Quando a relação entre R1 e R4 é idêntica à relação entre R2 e R3, o circuito está em **equilíbrio** e a tensão na saída (pontos A e B) é nula.

No caso de que R1 e R4 sejam substituídos por um **potenciômetro** (contato central em A), bastará conhecer o R3 para obter todos os valores possíveis de R2 que está como um valor desconhecido.

A condição de equilíbrio da ponte pode ser **detectada** com um voltímetro colocado entre A e B ou, no caso da alimentação com tensão alternada e uma freqüência de áudio, apenas com um simples auricular.

A medida não é imediata como a do multiteste, mas como compensação a ponte de Wheatstone também permite medir com facilidade os valores de **capacitância** que não sejam apenas os da resistência.

A ponte de Wheatstone permite comparar um elemento desconhecido com um conhecido.

Montagem de um circuito

A realização não apresenta dificuldades especiais

Os objetos que vão colocar-se na base já são conhecidos e facilmente identificáveis.

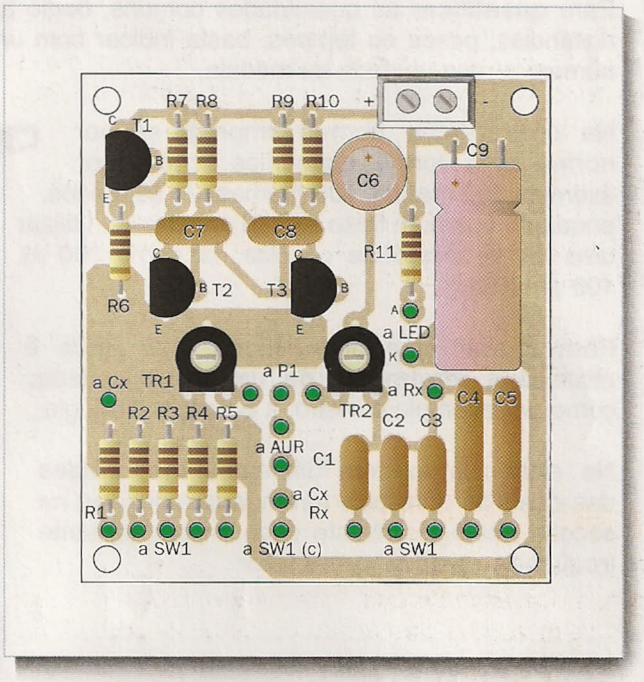
As **resistências** fixas informam o seu valor em Ohms através de um código de cores podendo ser inseridas sem nenhuma possibilidade de engano.

Os **capacitores** do tipo cerâmico ou de poliéster adotam em geral a indicação numérica que aparece em pico, nano ou microfarads (pF, nF, µF) e localizam-se também sem respeitar uma orientação específica.

Os capacitores **eletrolíticos** apresentam o valor capacitivo em µF, e são selecionados em função do valor do trabalho e sobretudo são inseridos prestando atenção aos sinais + e -.

Os **diodos** reconhecem-se pelas marcas e pela faixa branca que identifica o cátodo que não deve ser trocado de lugar com o ânodo.

Os **transistores** reconhecem-se através das marcas que são colocadas na parte exterior. Os outros componentes têm formas e textos especiais, que devem ser verificados utilizando o texto e as ilustrações.



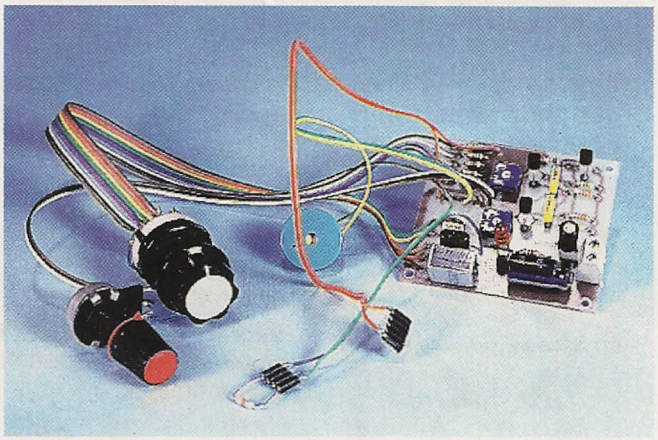
Disposição e orientação dos componentes no circuito impresso.

LIGAÇÕES ELÉTRICAS EXTERNAS

A figura em anexo mostra as **ligações** com fio até aos numerosos elementos colocados no exterior da base. Para evitar erros é melhor utilizar entrelaçamentos de diferentes cores, ligando os diversos objetos um de cada vez e verificando com atenção os pontos de partida e de chegada.

Com o **LED** (diodo luminoso) vermelho é necessário respeitar a polaridade: o terminal mais comprido é o ânodo A. A **tensão de alimentação** que se deve aplicar aos terminais + e - , pode ser indiferentemente de 9 ou 12 V, pelo qual se pode utilizar uma pilha ou uma fonte de alimentação com uma tomada de corrente.

O circuito inteiro pode estar dentro de uma pequena **caixa** de plástico colocando no painel frontal os controles e os bórnes de entrada.



A ferramenta de medida com todas as ligações externas.

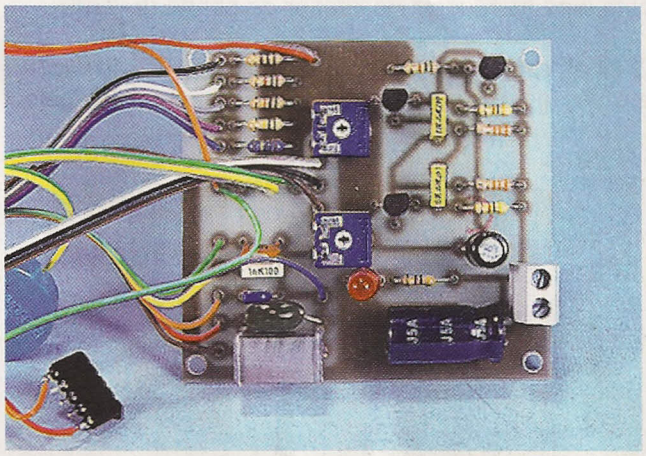
ENSAIO

Para **verificar** o funcionamento da ponte de medida basta aplicar a alimentação, por auriculares e permanecer à escuta.

As medidas são feitas de uma forma muito simples: liga-se uma resistência de valor desconhecido aos terminais Rx deixando o Cx desligado, e **girando** o potenciômetro até ao ponto em que o som já não seja audível.

No caso de que todo o percurso do potenciômetro não seja suficiente para anular o sinal acústico, deve-se manobrar com cuidado o **comutador** para selecionar uma gama de medidas diferente.

A escala de leitura que se coloca junto ao potenciômetro **prepara-se** efetuando algumas medidas com resistências de valor conhecido e seguindo as suas posições relativas.



O circuito com todos os componentes.

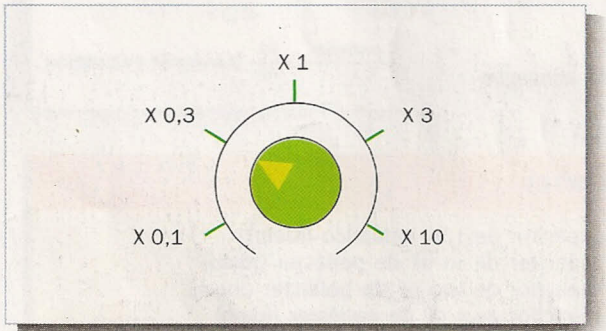
MEDIDAS DE CAPACITÂNCIAS

Para os **capacitores** é aplicado o mesmo sistema, com a diferença de que os terminais que se utilizam são os indicados com Cx deixando desligado o Rx.

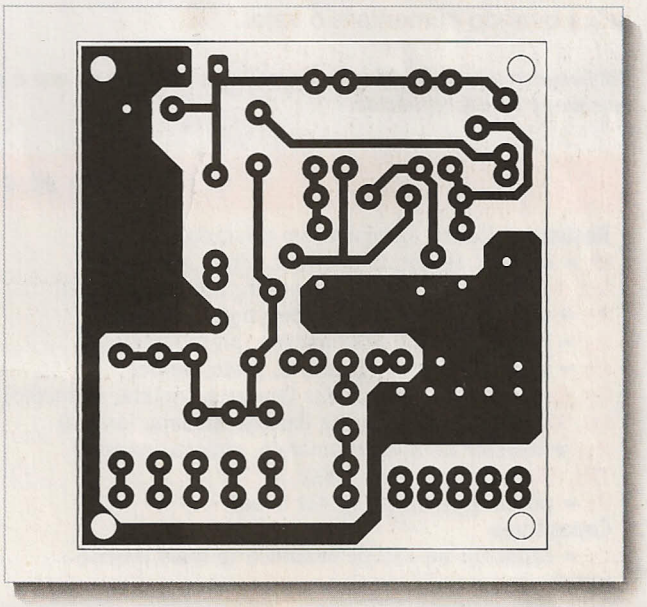
Temos que levar em conta que a escala de leitura não expressa valores absolutos, mas sim a **relação** entre o valor conhecido e o valor desconhecido.

Com um objetivo de caráter prático convém **marcar** as posições de P1 que fornecem o equilíbrio no intervalo compreendido entre uma décima parte e dez vezes o valor conhecido (de 0,1 a 10) utilizando capacitores de amostra de valor conhecido.

No entanto, os **trimmers resistivos** TR1 e TR2 são regulados para que o valor 1, ou seja, a relação unitária, seja encontrada exatamente no centro do percurso. Para maior comodidade na sua utilização, é conveniente **indicar** no painel também os valores resistivos e capacitivos da amostra colocados ao lado das doze passagens do comutador.



Exemplo de textos no painel e referências ao comando do comutador.



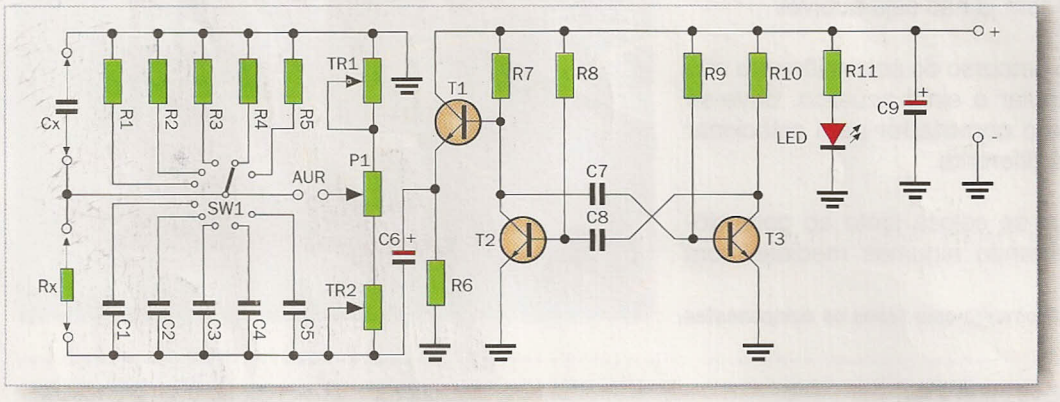
Traçado das trilhas de cobre no circuito impresso.

Funcionamento do circuito

No esquema da figura os transistores T2 e T3 formam um **oscilador** de onda (mais ou menos) quadrada com uma freqüência no interior da banda de áudio

O sinal, amplificado na corrente desde T1 **alimenta** através do C6 a ponte de medida constituída pelo potenciômetro, pelo componente desconhecido e pelo escolhido com o comutador.

Os trimmers TR1 e TR2 permitem **calibrar** a escala de leitura, imitando as assimetrias imprescindíveis devidas às tolerâncias normais dos componentes (que influem em qualquer dos casos na precisão da medida).



Esquema elétrico da ferramenta: à esquerda a autêntica ponte, à direita o oscilador de áudio.

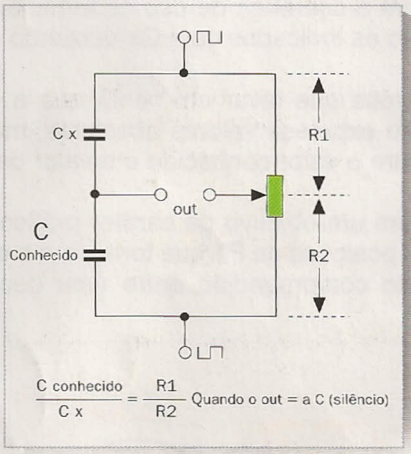
PORQUE É QUE FUNCIONA?

A figura mostra a medida de um capacitor: quando não se ouve nada, significa que o circuito está **equilibrado**; existe a mesma tensão nos dois lados.

Os dois divisores, o resistivo e o capacitivo, têm portanto uma **relação igual**: conhecendo um (potenciômetro) conhece-se também o outro.

No caso dos capacitores a relação está **invertida**: liga-se Cx pelo outro lado; de fato a sua impedância (resistência em corrente alternada) baixa quando aumentam o valor.

Conhecendo a relação entre os capacitores e o valor do que é conhecido, consegue-se saber o do desconhecido.



LISTA DE COMPONENTES

Resistores (todos terminam em dourado)
R1 = resistor de 100 Ω (marrom, preto, marrom)
R2, R6 = resistor de 1 KΩ (marrom, preto, vermelho)
R3 = resistor de 10 KΩ (marrom, preto, laranja)
R4 = resistor de 100 KΩ (marrom, preto, amarelo)
R5 = resistor de 1 MΩ (marrom, preto, verde)
R7, R10 = resistor de 4,7 KΩ (amarelo, violeta, vermelho)
R8, R9 = resistor de 33 KΩ (laranja, laranja, laranja)
R11 = resistor de 470 Ω (amarelo, violeta, marrom)
TR1, TR2 = trimmers de 1 KΩ
P1 = potenciômetro de 10 KΩ linear

Capacitores
C1 = capacitor de 100 pF cerâmico (o mais preciso possível)
C2 = capacitor de 1 nF cerâmico (ídem)
C3 = capacitor de 10 nF de poliéster (ídem)
C4 = capacitor de 100 nF de poliéster (ídem)
C5 = capacitor de 1 µF de poliéster (ídem)
C6 = capacitor de 22 µF de 25 V eletrolítico
C7, C8 = capacitores de 47 nF de poliéster
C9 = capacitor de 2200 µF de 16 V eletrolítico

Transistores e diodos
T1, T2, T3 = transistor BC548
LED = diodo LED vermelho de 5 mm

Vários
AUR = auricular de alta impedância
SW = comutador de circuito com 12 posições
1 circuito impresso